

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-247805

(43)Date of publication of application : 05.09.2003

(51)Int.Cl. G01B 11/00

(21)Application number : 2002-046610 (71)Applicant : TECH RES & DEV INST OF JAPAN

DEF AGENCY

(22)Date of filing : 22.02.2002

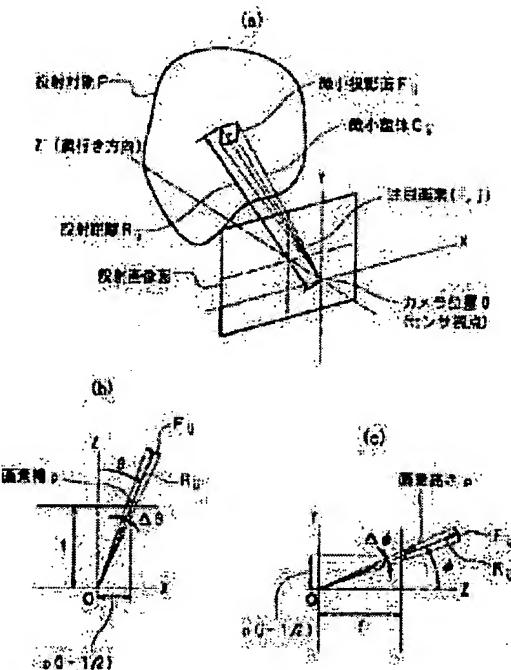
(72)Inventor : UCHIDA YASUYUKI
OSAKI KAORU

(54) METHOD FOR MEASURING VOLUME AND PROGRAM FOR MEASURING VOLUME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize an improvement in a working efficiency of an excavating work in a civil engineering work or the like by measuring a space volume and an acceleration and a low cost of a volume measuring process.

SOLUTION: Since a stereo-vision, a laser range finder or the like radially measures a distance from an origin to an object in a three-dimensional space in an array based on a predetermined rule in response to a device, it is easy to define an spreading angle with respect to each measuring point. A method for easily calculating a volume up to the surface of an article by an integration by defining an area occupied by adjacent pints without gap without superposing in the space, and calculating as a part of a sphere based on a radius and spreading angle in response to the distance.



* NOTICES *

JPO and INPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. *** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is a volume instrumentation method which measures volume using a three-dimensional measuring sensor which measures three-dimensional data for [said] projection from a projection image produced from a sensor viewpoint by projecting radiately to a candidate for projection, A data derivation step which derives projector distance to a minute surface of

projection on said projecting object which projected a noticed picture element in said projection image from said sensor viewpoint, and a minute project area of said minute surface of projection based on said three-dimensional data obtained from said three-dimensional measuring sensor, An element volume Measurement Division step which measures element volume of a minute cone which makes said sensor viewpoint the peak, makes said projector distance height, and uses said minute surface of projection as the bottom, A volume instrumentation method integrating with said element volume even to all the minute surfaces of projection, and providing a whole product Measurement Division step which measures the whole projected area product from said sensor viewpoint to said candidate for projection.

[Claim 2]Said whole projected area product measured without providing a candidate for Measurement Division in said projected area, The volume instrumentation method according to claim 1 providing said candidate for Measurement Division in said projected area, measuring the whole projected area product which was projected on a uniform direction and measured from the same sensor viewpoint, and providing a comparison Measurement Division step which measures volume for [said] Measurement Division.

[Claim 3]The volume instrumentation method comprising according to claim 1:
Said whole projected area product measured in the past.

The present projected area whole product which was projected on a uniform direction and measured from the same sensor viewpoint

A comparison Measurement Division step which compares and measures the amount of volume changes.

[Claim 4]Three-dimensional data for [which is measured based on a projection image obtained from a three-dimensional measuring sensor radiately projected from a sensor viewpoint to a candidate for projection / said] projection is used, To a computer, are volume a volume Measurement Division program made to measure, and said computer, A data deriving means which derives projector distance to a minute surface of projection on said projecting object which projected a noticed picture element in said projection image from said sensor viewpoint, and a minute project area of said minute surface of projection based on said three-dimensional data obtained from said three-dimensional measuring sensor, It integrates with an element volume measurement means which measures element volume of a minute cone which makes said sensor viewpoint the peak, makes said projector distance height, and uses said minute surface of projection as the bottom, and said element volume even to all the minute surfaces of projection, A volume Measurement Division program considering it as a whole product measurement means which measures the whole projected area product from said sensor viewpoint to said candidate for projection, and making it function.

[Claim 5]Said whole projected area product which measured said computer further without providing a candidate for Measurement Division in said projected area, The volume Measurement Division program according to claim 4 providing said candidate for Measurement Division in said projected area, measuring the whole projected area product which was projected on a uniform direction and measured from the same sensor viewpoint, and making it function as a comparison measurement means which measures volume for [said] Measurement Division.

[Claim 6]The volume Measurement Division program according to claim 4 measuring the present projected area whole product which projected said computer on a uniform direction from the same sensor viewpoint as said whole projected area product measured further in the past, and was measured, and making it function as a comparison measurement means which measures the amount of volume changes.

[Translation done.]

* NOTICES *

damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. *** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] A volume instrumentation method which measures volume using the three-dimensional measuring sensor which projects this invention radiately from a sensor viewpoint, and measures the distance to the candidate for projection, And it is related with the volume Measurement Division program which makes a computer measure volume using the three-dimensional data for [which is measured based on the projection image obtained from the three-dimensional measuring sensor radiately projected from a sensor viewpoint to the candidate for projection / said] projection. When there is an operating arm like construction machinery or an industrial robot especially, it is useful to derivation of the command value for carrying out autonomous NAV by measuring the volume of the space to an obstacle, and one's volume with Measurement Division of the planning of a work plan, the amount of work execution, etc. again, when carried in an uninhabited moving vehicle. In this Description, volume contains the volume (capacity) of space, such as a projected area, other than the volume of the objects for Measurement Division etc.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, as shown in drawing 10 (a), divide a field between the coordinates which project the coordinates (x, y, z) acquired from the measurement value on a xy plane, and adjoin, and it is considered as the bottom, There are a technique of integrating volume about all the coordinates noting that this is a square pillar with height z, the technique of constituting a triangle so that the adjoining coordinates may be connected mutually and the surface of a subject may be covered, as shown in the figure (b), and making the square pillar which projected them, and integrating volume, etc.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in a method as shown in drawing 10, volume of space cannot be measured, for example, capacity of the hole excavated and formed cannot be measured in the excavation work in an engineering-works enterprise etc. In this case, in the conventional instrumentation method shown in drawing 9 mentioned above, the volume of the excavated earth and sand had to be measured, and when thrown away into the place where excavated soil differs each time, two or more sets of the part of that place and measuring machine machines were needed, and it had become the cause of worsening the Measurement Division efficiency.

[0004] In a method as shown in drawing 10, there is a problem that the computational complexity for searching for an adjacent point from mutual physical relationship, and searching for a boundary line increases rapidly, so that the coordinates to measure increase. Therefore, the highly efficient measuring machine machine was needed, and it had become a cause by which cost increased.

[0005] As shown in drawing 11, if each coordinates a, b, and c and d are simply projected on the level surface, by the object W which made the truncated cone or the truncated pyramid reverse, the minute prisms A and B projected from the coordinates a and b can compute volume correctly, but. In the minute prisms C and D projected from the coordinates c and d, it will exist in which [internal and external] of the object W, or volume will be calculated fair. For this reason, in order to avoid the appearance of this estimation error, it is necessary to recognize which field is the surface of the object W, and there is a problem that complicated processing in

which the direction of a field, are distinguished is needed, about measured point. [0006]An object of this invention in order to cancel the problem of the conventional technology mentioned above, while realizing Measurement Division of space volume is to aim at improvement in the working efficiency of the excavation work in an engineering-works enterprise etc. It is shown in aiming at realization of improvement in the speed of volume Measurement Division processing, and low-cost-izing. It is shown in attaining highly precise-ization of the volume Measurement Division for [W] Measurement Division.

[0007]

[Means for Solving the Problem]In order to attain the above-mentioned purpose, the volume instrumentation method according to claim 1, It is a volume instrumentation method which measures volume using the three-dimensional measuring sensor 10 which measures three-dimensional data for [said / P] projection from a projection image produced from the sensor viewpoint O by projecting radiately to the candidate P for projection, Based on said three-dimensional data obtained from said three-dimensional measuring sensor 10, A data derivation step which derives minute project area S_{ij} [of projector distance R_{ij} to minute surface-of-projection F_{ij} on said projecting object P which projected a noticed picture element (i, j) in said projection image from said sensor viewpoint O, and said minute surface-of-projection F_{ij}], An element volume Measurement Division step which measures element volume V_{ij} [of minute cone C_{ij} which makes said sensor viewpoint O the peak makes said projector distance R_{ij} height, and uses said minute surface-of-projection F_{ij} as the bottom], It integrates with said element volume V_{ij} even to all the minute surface-of-projection F_{ij} , and a whole product Measurement Division step which measures the whole projected area PA product V from said sensor viewpoint O to said candidate P for projection is provided.

[0008]In the volume instrumentation method according to claim 1 the volume instrumentation method according to claim 2, Said whole projected area PA product V measured without forming the candidate W for Measurement Division in said projected area PA. Said candidate W for Measurement Division is formed in said projected area PA, the whole projected area PA product V which was projected on a uniform direction and measured from the same sensor viewpoint O is measured, and a comparison Measurement Division step which measures volume for [said / W] Measurement Division is provided.

[0009]In the volume instrumentation method according to claim 1 the volume instrumentation method according to claim 3, The present projected area PA whole product V which was projected on a uniform direction and measured from the same sensor viewpoint O as said whole projected area PA product V measured in the past is measured, and a comparison Measurement Division step which measures the amount of volume changes is provided.

[0010]The volume Measurement Division program according to claim 4, Three-dimensional data for [which is measured based on a projection image obtained from the three-dimensional measuring sensor 10 radiately projected from the sensor viewpoint O to the candidate P for projection / said / P] projection is used, To a computer, are volume a volume Measurement Division program made to measure, and said computer, Based on said three-dimensional data obtained from said three-dimensional measuring sensor 10, A noticed picture element (i, j) in said projection image from said sensor viewpoint O. Make the data deriving means 3 which derives minute project area S_{ij} [of projector distance R_{ij} to minute surface-of-projection F_{ij} on said projected projecting object P, and said minute surface-of-projection F_{ij}], and said sensor viewpoint O into the peak, make said projector distance R_{ij} into height, and said minute surface-of-projection F_{ij} . It integrates with the element volume measurement means 4 which measures element volume V_{ij} [of minute cone C_{ij} used as the bottom], and said element volume V_{ij} even to all the minute surface-of-projection F_{ij} , It is considered as the whole product measurement means 5 which measures the whole projected area PA product V from said sensor viewpoint O to said candidate P for

projection, and is made to function.

[0011]The volume Measurement Division program according to claim 5, Said whole projected area PA product V which measured said computer further in the volume Measurement Division program according to claim 4 without forming the candidate W for Measurement Division in said projected area PA. Said candidate W for Measurement Division is formed in said projected area PA, the whole projected area PA product V which was projected on a uniform direction and measured from the same sensor viewpoint O is measured, and it is made to function as the comparison measurement means 7 which measures volume for [said / W] Measurement Division.

[0012]The volume Measurement Division program according to claim 6, Said whole projected area PA product V which measured said computer in the past further in the volume Measurement Division program according to claim 4. The present projected area PA whole product V which was projected on a uniform direction and measured from the same sensor viewpoint O is measured, and it is made to function as the comparison measurement means 7 which measures the amount of volume changes.

[0013]According to the above-mentioned invention, Measurement Division of space volume of projected area PA is realizable. Since the amount of volume changes in projected area PA becomes measurable, it is possible to apply to excavation work using an operation arm, a carry process, etc. Since it becomes measurable [volume for / which exists in projected area PA / W / Measurement Division], it is applicable to an independence run in an uninhabited moving vehicle.

[0014]In volume Measurement Division for [W] Measurement Division, set a virtual plane set up beforehand as each projection target P of two or more sets of the three-dimensional measuring sensors 10, and let the projected area PA be arbitrary closed space. And two or more sets of the three-dimensional measuring sensors 10 are arranged to the circumference for [W] Measurement Division so that each closed space may not overlap and it may join continuously. And volume for [W] Measurement Division is measurable in totaling each volume measured based on each sensor. It is not necessary to recognize complicated shape for [W] Measurement Division by this, and exact volume can be measured. The number of these three-dimensional measuring sensors 10 becomes possible [arranging at equal intervals to that circumference focusing on for / W / Measurement Division, respectively] by making the same a flat-surface equation with which it is three or more sets preferably, and a virtual plane for every sensor is expressed.

[0015]

[Embodiment of the Invention]First, the embodiment of the volume Measurement Division program of this invention is described using drawing 1 – drawing 4. The volume Measurement Division program is stored in recording media, such as ROM, HDD, and CD-ROM, and it is connected to an unillustrated computer and it is a program which makes a computer measure volume using the three-dimensional data measured from the three-dimensional measuring sensor 10. This volume Measurement Division program is a program as which a computer is operated as each means 3, 4, 5, and 7 to mention later.

[0016]The three-dimensional measuring sensor 10 is a sensor which measures the three-dimensional data for [P] projection from the projection image produced by stereovision, a laser coupled range finder camera, etc. projecting from the sensor viewpoint O radiately to the candidate P for projection, for example. This three-dimensional measuring sensor 10 is connected to the computer, and as shown in drawing 2, the three-dimensional coordinate data of each Measurement Division point for [which was measured / P] projection is stored in the three-dimensional data memory 2 shown in drawing 1.

[0017]Based on the three-dimensional data obtained from the three-dimensional measuring sensor 10, as shown in drawing 2, the data deriving means 3, Minute project area S_{ij} [of projector distance R_{ij} to minute surface-of-projection F_{ij} on the projecting object P which projected the noticed picture element (i, j) in a projection image from the sensor viewpoint O, and minute surface-of-projection F_{ij}] is derived.

[0018]Volume (it is hereafter called element volume V_{ij}) of minute cone C_{ij} which the element volume measurement means 4 makes the sensor viewpoint O the peak, makes projector distance R_{ij} height based on the data drawn as shown in drawing 2, and uses minute surface-of-projection F_{ij} as the bottom It measures.

[0019]The whole product measurement means 5 will integrate with element volume V_{ij} even to all the minute surface-of-projection F_{ij} , namely, will integrate element volume V_{ij} [of each minute cone C_{ij}], and will measure the whole product V in projected area PA from the sensor viewpoint O to the candidate P for projection. Since it defines without a crevice, without the fields which adjoining minute cone C_{ij} occupy by this overlapping in space, Based on the radius and spreading angle according to distance, it can measure as a part of [spherical] volume, and it becomes possible to measure the volume to the projection object face P easily by those addition.

[0020]The comparison measurement means 7 forms the candidate W for Measurement Division in the whole projected area PA product V measured without forming the candidate W for Measurement Division in projected area PA, and said projected area PA, measures the whole projected area PA product V which was projected on the uniform direction and measured from the same sensor viewpoint O, and measures the volume for [W] Measurement Division. The present projected area PA whole product V which was projected on the uniform direction and measured from the same sensor viewpoint O as the whole projected area PA product V measured in the past is measured, and the amount of volume changes is measured.

[0021]Drawing 2 (a) when - (c) is a principle figure at the time of applying stereovision as the three-dimensional measuring sensor 10 and the same photographic subject (the candidate W for Measurement Division) is copied by two or more sets of the sensors 10, The example at the time of applying to the stereovision which computes three-dimensional data from a gap of the image produced according to the physical relationship is shown. Drawing 3 is the flow chart.

[0022]By the stereovision 10, it is thought that the obtained depth map is calculated based on the pixel arrangement of CCD of a reference camera since the depth map is displayed with the luminance value for every pixel of CCD. First, the three-dimensional coordinates measurement data (X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}) obtained from the obtained depth map is read (SP1).

[0023]Next, the read three dimensional-coordinates each measurement data (X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}) is extracted from the three-dimensional data memory 2 for every pixel (SP2-SP8).

[0024]Next, in the stereovision 10, since the three-dimensional coordinates measurement data of the extracted pixel (i, j) is not polar coordinates (SP8-NO), it changes into polar coordinates (SP9). That is, as shown in drawing 2, let the reference camera position O be the sensor viewpoint O. And as shown in drawing 2 (b), in XZ flat surface, the Z-axis, the line segment which connects a noticed picture element (i, j) center to the sensor viewpoint O, and ***** are set to theta. As shown in drawing 2 (c), in a YZ plane, the Z-axis, the line segment which connects a noticed picture element (i, j) center to the sensor viewpoint O, and ***** are set to phi. It can ask for theta and phi with a following formula (1). here, since [i (j)] theta (phi) is an angle to the center of a noticed picture element (i, j) , it subtracts 1/2 pixel and is (or -- adding). p is the pixel width or the pixel height of a noticed picture element (i, j) , and f is a focal distance.

[0025]

[Equation 1]

$$\begin{cases} \theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} (i - \frac{1}{2}) \right) & (i > 0) \\ \theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} (i + \frac{1}{2}) \right) & (i < 0) \end{cases} \quad \dots \dots (1)$$
$$\begin{cases} \phi_j = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} (j - \frac{1}{2}) \right) & (j > 0) \\ \phi_j = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} (j + \frac{1}{2}) \right) & (j < 0) \end{cases}$$

[0026] Projector distance R_{ij} is the distance from the sensor viewpoint O to minute surface-of-projection F_{ij} projected from the noticed picture element (i, j), and the parallax value of the same noticed picture element (i, j) in two or more cameras is measured as distance R_{ij} . Thereby, the coordinates (X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}) of minute surface-of-projection F_{ij} projected from the noticed picture element (i, j) are changed into polar coordinates $(R_{ij}, \theta_{ij}, \phi_{ij})$.

[0027] Next, minute project area S_{ij} of minute surface-of-projection F_{ij} from each noticed picture element (i, j) in the projecting object P is measured (SP10). Here, the angle which is equivalent to $\Delta\theta_i$ and height p (the direction of Y) of a noticed picture element (i, j) in the angle which sees from the sensor viewpoint O and is equivalent to the width p (the direction of X) of a noticed picture element (i, j) is set to $\Delta\phi_i$. It can ask for the angle equivalent to the width (height) of a noticed picture element (i, j) with a following formula (2).

[0028]:

[Equation 2]

$$\begin{cases} \Delta\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{p}{f} i\right) - \tan^{-1}\left(\frac{p}{f} (i-1)\right) & (i > 0) \\ \Delta\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{p}{f} (i+1)\right) - \tan^{-1}\left(\frac{p}{f} i\right) & (i < 0) \end{cases} \dots\dots(2)$$

$$\begin{cases} \Delta\phi_j = \tan^{-1}\left(\frac{p}{f} j\right) - \tan^{-1}\left(\frac{p}{f} (j-1)\right) & (j > 0) \\ \Delta\phi_j = \tan^{-1}\left(\frac{p}{f} (j+1)\right) - \tan^{-1}\left(\frac{p}{f} j\right) & (j < 0) \end{cases}$$

[0029] If the range reflected in this noticed picture element (i, j) shall have projector distance R_{ij} , it is possible that the volume of this portion is the portion divided by the extension wire which forms the connection of a noticed picture element (i, j) at the sensor viewpoint O among the balls of radius R_{ij} . Therefore, minute project area S_{ij} of minute surface-of-projection F_{ij} from each noticed picture element (i, j) in the projecting object P becomes surface area $(R_{ij}\Delta\theta_i \text{ and } R_{ij}\Delta\phi_j)$ to the surface area $(4\pi R_{ij}^2)$ of the ball of radius R_{ij} .

[0030] Next, the sensor viewpoint O is made into the peak, projector distance R_{ij} which passes a noticed picture element (i, j) is made into height, and minute cone C_{ij} which uses a noticed picture element (i, j) or projected minute surface-of-projection F_{ij} as the bottom is created.

Volume (element volume) V_{ij} of this minute cone C_{ij} is called for by a following formula (3) (SP11).

[0031]

[Equation 3]

$$V_{ij} = \left(\frac{4}{3}\pi R_{ij}^3\right) \left(\frac{R_{ij}^2 \Delta\theta_i \cdot \Delta\phi_j}{4\pi R_{ij}^2}\right) = \frac{R_{ij}^3 \Delta\theta_i \cdot \Delta\phi_j}{3} \dots\dots(3)$$

[0032] By accumulating this about all the pixels (4), i.e., a following formula, the volume V is measured about the space (projected area PA) from the sensor viewpoint O to the candidate P for projection (SP12).

[0033]

[Equation 4]

$$V = \sum_{ij} V_{ij} \dots\dots(4)$$

[0034] The measured whole product V is stored in the whole product data memory 6 (SP13).

Although an above-mentioned example is an example which applied stereovision as the three-dimensional measuring sensor 10, when a laser range finder is applied, since the three-dimensional coordinates measurement data obtained from a laser range finder is polar coordinates (SP8-YES), it does not have to carry out polar coordinate conversion.

[0035] This technique cannot ask for the space volume (projected area PA) to the object for [P] projection (the candidate W for Measurement Division) seen from the camera, and can ask for neither the volume for [P] projection, nor the volume for [W] which exists in projected area PA from the sensor viewpoint O to the candidate P for projection / W] Measurement Division directly. However, when the camera position is being fixed, change of the measured space volume becomes equal to the volume change for [W] Measurement Division.

[0036] Then, the example which measures the volume for [W] Measurement Division is explained using drawing 4 and drawing 5. First, as shown in drawing 4 (a), the three-dimensional measuring sensor 10 is fixed and it projects towards the floor line as the candidate P for projection.

Thereby, the space volume V of projected area PA shown by the dotted line is measured among the figure (a) (SP1-SP15).

[0037] Next, as shown in the figure (b), the candidate W for Measurement Division is laid in the floor line in same projected area PA. and -- a floor line -- and -- Measurement Division -- an object -- W -- the surface -- projection -- an object -- P -- ' -- carrying out -- things -- SP -- one - SP -- 13 -- processing -- said -- a figure -- (b) -- inside -- a dotted line -- being shown -- having -- *** -- a projected area -- PA -- ' -- space volume -- V -- ' -- measuring (SP20). said -- a figure -- (a) -- and -- said -- a figure -- (b) -- it can set -- a projected area -- PA -- PA -- ' -- the whole -- a product -- V -- V -- ' -- the whole -- a product -- data memory -- six -- from -- reading (SP21). And the volume for [W] Measurement Division (V-V') is measured by taking whole both the products V and the difference of V' (SP22).

[0038] The case where it applies to Measurement Division of the rating in digging or banking work is explained using drawing 5 - drawing 7. As shown in drawing 6, the three-dimensional measuring sensor 10 and the volume Measurement Division program are carried in the power-shovel machine 11.

[0039] First, as shown in drawing 7 (a), in even geographical feature, the space volume V of projected area PA (the range of a figure middle point line) which is the three-dimensional space from the sensor viewpoint O to a ground surface is measured by making the ground surface applicable [P] to projection.

[0040] Next, as shown in the figure (b), when the ground of the specified quantity is excavated and the hole 12 (12a) is formed, Pa for projection, It becomes the bottom of the hole 12a, an inner circle wall, and a ground surface, in the projected area PAa of the figure (b), the excavated quantity part volume of excavated soil increases compared with projected area PA of the figure (a) (the range of a figure middle point line), and the space volume Va is measured.

[0041] When it excavates further from this state and the hole 12b is formed, as shown in the figure (c), for [Pb] projection, It becomes the bottom of the hole 12a, the bottom of an inner circle wall and the hole 12b, an inner circle wall, and a ground surface, in the projected area PAb of the figure (c), the excavated quantity part volume of excavated soil increases compared with the projected area PAa of the figure (b) (the range of a figure middle point line), and the space volume Vb is measured.

[0042] Therefore, when measuring the drilling body product in the figure (b), it is measured by measuring the space volume V and Va of the figure (a) and the figure (b), and taking the difference (V-Va). When measuring the drilling body product in the figure (c), it is measured by measuring the space volume V and Vb of the figure (a) and the figure (c), and taking the difference (V-Vb). When measuring the drilling body product from the figure (b) to the figure (c), it is measured by comparing the space volume Va of the figure (b) and the figure (c), and Vb, and taking the difference (Va-Vb).

[0043] Thereby, the volume of excavated soil can be grasped during excavation work, and it becomes possible to excavate correctly to a target drilling body product.

[0044] Next, other examples are explained. This example is an example which places in a fixed

position radiately the three-dimensional measuring sensor 10 (10a, 10b) of plurality (a figure two sets) from the candidate W for Measurement Division with equiangularity to the circumference for [W] Measurement Division, and measures the volume for [W] Measurement Division, as shown in drawing 8.

[0045]The three-dimensional measuring sensor 10 of this example defines projecting object side PI virtually using a flat-surface equation. That is, from the sensor viewpoint O to virtual projecting object side PI is beforehand set up as the maximal projection distance Rmax of the sensor 10, and if actually measured projector distance R_{ij} exceeds the maximal projection distance Rmax, it will carry out a conversion process to the maximal projection distance Rmax. He sets up the maximum measuring space volume of the 3-dimensional each measuring sensors 10a and 10b, and is trying to divide projection area PA into PA1 and PA2 by this.

[0046]Therefore, as shown in drawing 8 (a), when the candidate W for Measurement Division is not laid in the floor line, the candidate P1 for projection of one three-dimensional measuring sensor 10a serves as virtual projecting object side PI virtually installed from the floor line and floor line on which it was projected, and the space volume V1 is measured. Similarly, the candidate P2 for projection of the three-dimensional measuring sensor 10b of another side serves as virtual projecting object side PI virtually installed from the floor line and floor line on which it was projected, and the space volume V2 is measured.

[0047]And it lays in a floor line so that the candidate W for Measurement Division which made reverse a truncated cone or a truncated pyramid as shown in drawing 8 (b) may be crossed to both projected area PA1 and PA2. And if it projects from both the sensors 10a and 10b towards this candidate W for Measurement Division, space volume V1' and V2' will be measured. And in one sensor 10a side, the volume (V1-V1') of the abbreviated right half part Wa for [W] Measurement Division is measured by the difference of the space volume V1 and space volume V1' bordering on the virtual projection object face pl. Half an approximately left copy Wb of the volume for [W] Measurement Division (V2-V2') is similarly measured bordering on virtual projection object face PI by the sensor 10b side of another side by the difference of the space volume V2 and space volume V2'. In totaling the volume of this abbreviated right half part, and the volume of an abbreviated left half part, it becomes possible to measure the volume V for [W] Measurement Division.

[0048]Since it will constitute and each view will be compounded in a closed space so that it may not overlap from the physical relationship of a reference point when this performs two or more Measurement Division in the state where there is no dead angle, from the circumference for [W] Measurement Division, it becomes possible not to need complicated object recognition but to calculate the volume for [W] Measurement Division.

[0049]Although drawing 8 explained the case where the two three-dimensional measuring sensors 10 were used, three sets may be used as shown in drawing 9. In this case, virtual projection object face PI, i.e., the flat-surface equation, of each sensor, by each sensors 10A and 10B and defining 10C per the 2nd page. It becomes possible to be able to trichotomize the projected area PAa, PAb, PAc, and its space volume, to project on the candidate W for Measurement Division from a three way type, to measure volume by laying the candidate W for Measurement Division, so that it may cross to each projected area PA, and to measure the volume for [W] Measurement Division like the above in totaling these.

[0050]

[Effect of the Invention]Even if the coordinates which are measured according to this invention increase so that clearly from the above explanation, it is not necessary to search for an adjacent point from mutual physical relationship, and to search for a boundary line. Since required volume is calculable one by one based on arrangement information with the regularity according to a sensor, distance can also simplify an algorithm few. The fall of the processing speed by the increase in the Measurement Division point can be avoided, it becomes possible to increase the number of Measurement Division points conversely, and improvement in calculation precision and real time nature improvement can also be aimed at.

[0051]Also about the object which carried out complicated shape, distinction of distinction of the point which exists in which [for Measurement Division / internal and external], recognition of

which field is the surface for measurement Division, the direction of field, etc. is unnecessary about each Measurement Division point, and simplification of an algorithm and improvement in processing speed can be aimed at.

[0052]The application to navigation, such as an unmanned vehicle which makes possible the work planning and high speed movement about the work machine which must be judged in real time in the environment where it changes every moment, and which attained remote control and automation from the possibility of real time processing, etc. is also attained.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]It is an outline block lineblock diagram showing the volume Measurement Division program of this invention.

[Drawing 2]It is a figure showing the volume measuring principle in the volume Measurement Division program of this invention.

[Drawing 3]It is a flow chart which shows the volume Measurement Division program of this invention.

[Drawing 4]It is a figure showing an example of the volume calculating method for [on a flat surface] Measurement Division.

[Drawing 5]It is a flow chart which shows the volume Measurement Division for Measurement Division.

[Drawing 6]It is a figure showing the example which carries the volume Measurement Division program of this invention in a power-shovel machine.

[Drawing 7]It is a schematic diagram which measures a drilling body product when the volume Measurement Division program of this invention is carried in a power-shovel machine.

[Drawing 8]It is a figure showing other examples of the volume calculating method for [on a flat surface] Measurement Division.

[Drawing 9]It is a figure showing the application of the volume calculating method for [on a flat surface] Measurement Division.

[Drawing 10]It is a figure showing how to treat the measure point in the conventional calculation technique.

[Drawing 11]It is a figure showing the problem produced when a subject is complicated shape.

1 -- Volume Measurement Division program

3 -- Data deriving means

4 -- Element volume measurement means

5 -- Whole product measurement means

7 -- Comparison measurement means

10 -- Three-dimensional measuring sensor

(i, j) -- Noticed picture element

C_{ij} -- Minute cone

F_{ij} -- Minute surface of projection
 O -- Sensor viewpoint
 P -- Candidate for projection
 PA -- Projected area
 R_{ij} -- Projector distance
 S_{ij} -- Minute project area
 V -- Whole product
 V_{ij} -- Element volume

[Translation done.]

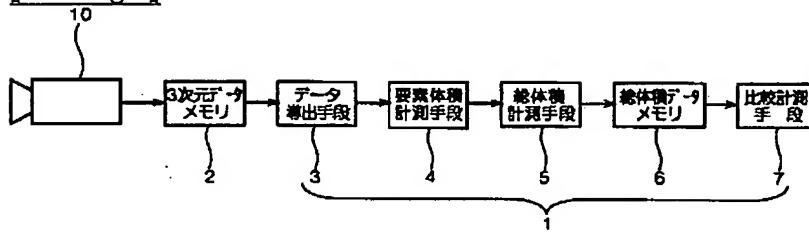
* NOTICES *

JPO and INPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

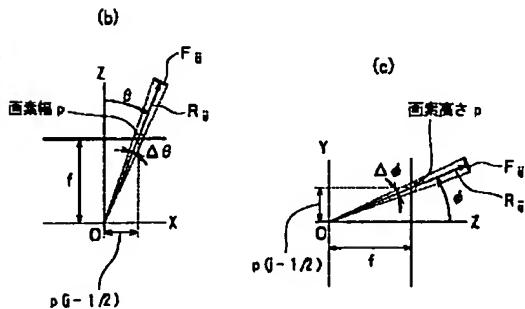
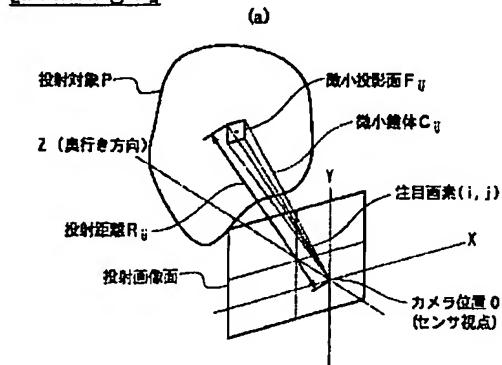
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

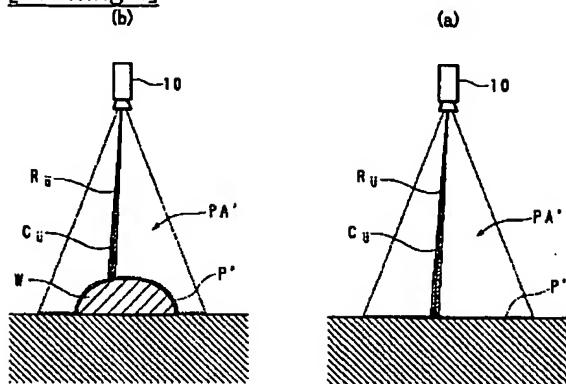
[Drawing 1]



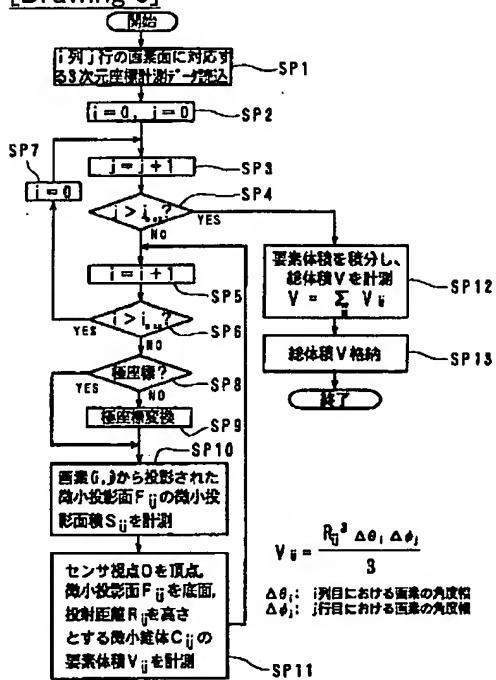
[Drawing 2]



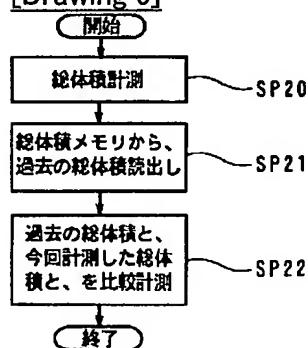
[Drawing 4]



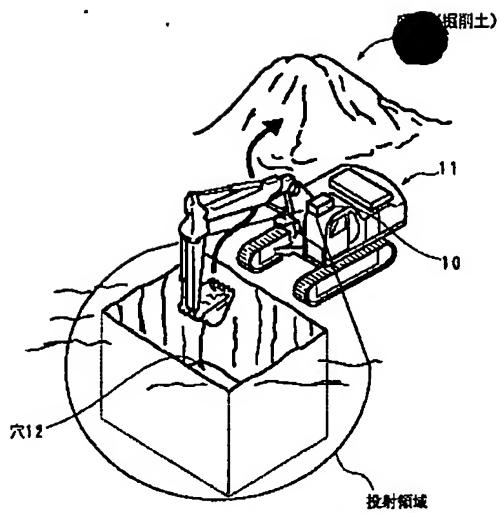
[Drawing 3]



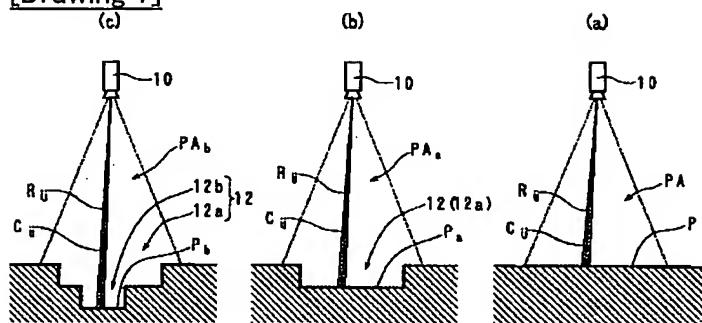
[Drawing 5]



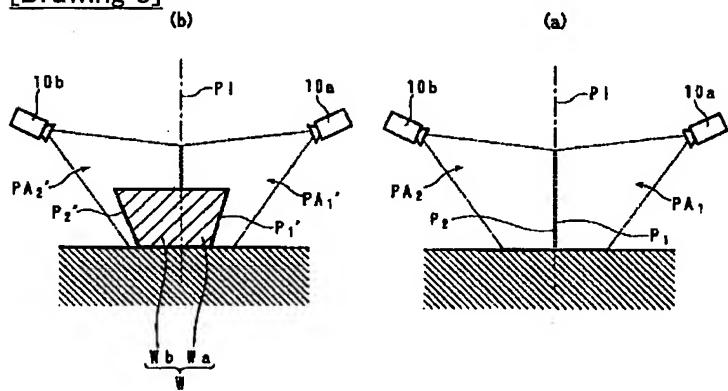
[Drawing 6]



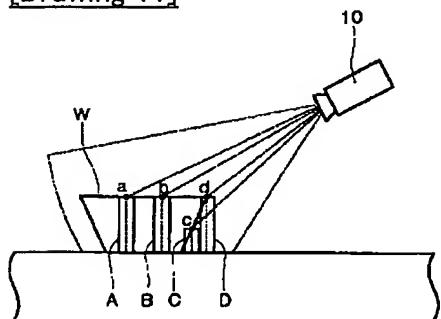
[Drawing 7]



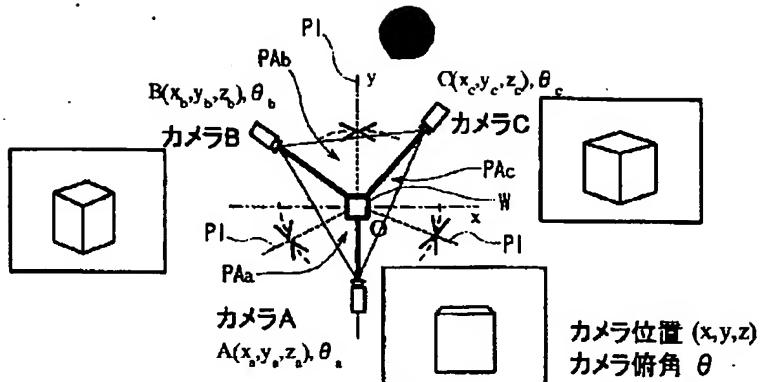
[Drawing 8]



[Drawing 11]



[Drawing 9]

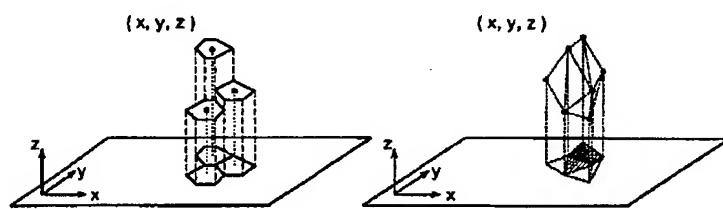


---- 各カメラの担当領域の境界(任意に設定)

[Drawing 10]

(a)

(b)



[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-247805

(P2003-247805A)

(43)公開日 平成15年9月5日(2003.9.5)

(51)Int.Cl'

G 0 1 B 11/00

識別記号

F I

G 0 1 B 11/00

テマコード(参考)

B 2 F 0 6 5

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2002-46610(P2002-46610)

(22)出願日 平成14年2月22日(2002.2.22)

(71)出願人 390014306

防衛庁技術研究本部長

東京都新宿区市谷本村町5番1号

(72)発明者 内田 康之

神奈川県相模原市淵野辺1-18-33 4-304

(72)発明者 大崎 肇

東京都港区白金1-7-3

(74)代理人 100067323

弁理士 西村 敦光

Fターム(参考) 2F065 AA04 AA06 AA58 AA59 BB05

CC00 DD06 FF04 FF05 GG04

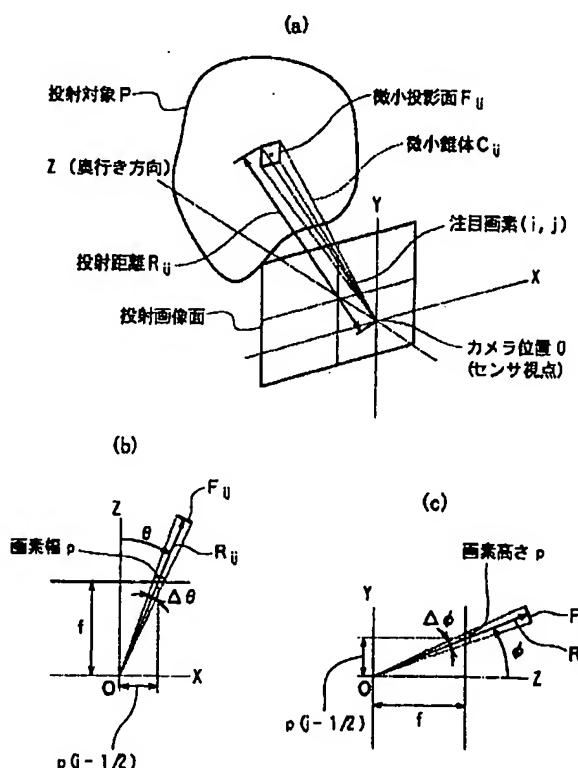
HH12 JJ03 JJ05 JJ08 JJ26

(54)【発明の名称】 体積計測方法及び体積計測プログラム

(57)【要約】

【目的】 空間体積を計測し、土木事業等における掘削作業の作業効率の向上並びに体積計測処理の高速化及び低コスト化の実現を図る。

【構成】 ステレオビジョン、レーザレンジファインダ等は、デバイスに応じた一定の規則に基づいた配列で、原点から放射状に3次元空間内の対象物までの距離を計測しているため、各計測点に関して、距離に応じた広がり角度を定義することは容易であり、隣接する点同士が占める領域が空間内で重なり合うことなく隙間なく定義し、距離に応じた半径と広がり角度に基づき球体の一部の体積として算出することで、それらの積算により容易に物体表面までの体積を計算する手法である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 センサ視点から投射対象に対し放射状に投射して得られる投射画像から前記投射対象の3次元データを計測する3次元計測センサを用いて体積を計測する体積計測方法であって、前記3次元計測センサから得られた前記3次元データに基づいて、前記センサ視点から前記投射画像内の注目画素を投影した前記投射対象上の微小投影面までの投射距離及び前記微小投影面の微小投影面積を導出するデータ導出ステップと、

前記センサ視点を頂点とし前記投射距離を高さとし前記微小投影面を底面とする微小錐体の要素体積を計測する要素体積計測ステップと、

前記要素体積を総ての微小投影面にまで積分して、前記センサ視点から前記投射対象までの投射領域の総体積を計測する総体積計測ステップと、を具備することを特徴とする体積計測方法。

【請求項2】 前記投射領域内に計測対象を設けずに計測した前記投射領域の総体積と、前記投射領域内に前記計測対象を設けて同一センサ視点から同一方向に投射して計測した投射領域の総体積と、を比較して、前記計測対象の体積を計測する比較計測ステップを具備することを特徴とする請求項1記載の体積計測方法。

【請求項3】 過去に計測した前記投射領域の総体積と、同一センサ視点から同一方向に投射して計測した現在の投射領域の総体積と、を比較して、その体積変化量を計測する比較計測ステップを具備することを特徴とする請求項1記載の体積計測方法。

【請求項4】 センサ視点から投射対象に対し放射状に投射する3次元計測センサから得られる投射画像に基づいて計測される前記投射対象の3次元データを用いて、コンピュータに体積を計測させる体積計測プログラムであって、

前記コンピュータを、

前記3次元計測センサから得られた前記3次元データに基づいて、前記センサ視点から前記投射画像内の注目画素を投影した前記投射対象上の微小投影面までの投射距離及び前記微小投影面の微小投影面積を導出するデータ導出手段、

前記センサ視点を頂点とし前記投射距離を高さとし前記微小投影面を底面とする微小錐体の要素体積を計測する要素体積計測手段、

前記要素体積を総ての微小投影面にまで積分して、前記センサ視点から前記投射対象までの投射領域の総体積を計測する総体積計測手段、として機能させることを特徴とする体積計測プログラム。

【請求項5】 前記コンピュータを、更に、

前記投射領域内に計測対象を設けずに計測した前記投射領域の総体積と、前記投射領域内に前記計測対象を設けて同一センサ視点から同一方向に投射して計測した投射

10

領域の総体積と、を比較して、前記計測対象の体積を計測する比較計測手段として機能させることを特徴とする請求項4記載の体積計測プログラム。

【請求項6】 前記コンピュータを、更に、過去に計測した前記投射領域の総体積と、同一センサ視点から同一方向に投射して計測した現在の投射領域の総体積と、を比較して、その体積変化量を計測する比較計測手段として機能させることを特徴とする請求項4記載の体積計測プログラム。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、センサ視点から放射状に投射して投射対象までの距離を計測する3次元計測センサを用いて体積を計測する体積計測方法、及び、センサ視点から投射対象に対し放射状に投射する3次元計測センサから得られる投射画像に基づいて計測される前記投射対象の3次元データを用いて、コンピュータに体積を計測させる体積計測プログラムに関するものである。特に、建設機械や産業用ロボットの様な作業用アームがある場合には作業計画のプランニングや作業遂行量等の計測に、また、無人の移動車両に搭載した場合には、障害物までの空間の体積と自分の体積を比較することで自律航行するための指令値の導出に有用である。なお、本明細書において、体積とは、計測対象等の物体の体積の他に、投射領域等の空間の体積（容積）を含むものである。

20

【0002】

【従来の技術】 従来は、図10(a)に示すように、計測値から得られた座標(x, y, z)をxy平面に投影して隣接する座標との間で領域を区切って底面とし、これが高さzを持つ角柱であるとして全ての座標について体積を積算する手法や、同図(b)に示すように、隣接する座標を相互に結んで対象物の表面を覆うように三角形を構成し、それらを投影した角柱を作り体積を積算する手法などがある。

30

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、図10に示す様な方法では、空間の体積を計測することができず、例えば、土木事業等での掘削作業において、掘削して形成された穴の容積を計測することができない。この場合、上述した図9に示す従来の計測方法では、掘削した土砂の体積を計測するしかなく、掘削土が毎回異なる場所に捨てられる場合は、その場所の分、複数台の計測機器が必要となり、計測効率を悪化させる原因となっていた。

40

【0004】 また、図10に示す様な方法では、計測する座標が多くなるほど相互の位置関係から隣接点を探索し境界線を求めるための計算量が急激に増大するという問題がある。したがって、高性能の計測機器が必要となり、コストが増大する原因となっていた。

50

【0005】更に、図11に示すように、円錐台又は角錐台を逆さにしたような物体Wでは、単純に各座標a, b, c, dを水平面に投影すると、座標a, bから投影された微小柱体A, Bは正確に体積を算出できるが、座標c, dから投影された微小柱体C, Dにおいては、物体Wの内外のどちらに存在するか区別なく体積を計算されてしまうこととなる。このため、この積算誤差の出現を回避するために、計測した点に関し、どの領域が物体Wの表面なのかを認識する必要があり、面の方向などの判別をするという複雑な処理が必要となるという問題がある。

【0006】本発明は、上述した従来技術の問題点を解消するため、空間体積の計測を実現するとともに、土木事業等における掘削作業の作業効率の向上を図ることを目的としている。また、体積計測処理の高速化及び低コスト化の実現を図ることにある。更に、計測対象Wの体積計測の高精度化を図ることにある。

【0007】

【問題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1記載の体積計測方法は、センサ視点Oから投射対象Pに対し放射状に投射して得られる投射画像から前記投射対象Pの3次元データを計測する3次元計測センサ10を用いて体積を計測する体積計測方法であって、前記3次元計測センサ10から得られた前記3次元データに基づいて、前記センサ視点Oから前記投射画像内の注目画素(i, j)を投影した前記投射対象P上の微小投影面F_{i,j}までの投射距離R_{i,j}及び前記微小投影面F_{i,j}の微小投影面積S_{i,j}を導出するデータ導出手段3、前記センサ視点Oを頂点とし前記投射距離R_{i,j}を高さとし前記微小投影面F_{i,j}を底面とする微小錐体C_{i,j}の要素体積V_{i,j}を計測する要素体積計測手段4、前記要素体積V_{i,j}を総ての微小投影面F_{i,j}にまで積分して、前記センサ視点Oから前記投射対象Pまでの投射領域PAの総体積Vを計測する総体積計測手段5、として機能させることを特徴とする。

【0008】また、請求項2記載の体積計測方法は、請求項1記載の体積計測方法において、前記投射領域PA内に計測対象Wを設けずに計測した前記投射領域PAの総体積Vと、前記投射領域PA内に前記計測対象Wを設けて同一センサ視点Oから同一方向に投射して計測した投射領域PAの総体積Vと、を比較して、前記計測対象Wの体積を計測する比較計測ステップを具備することを特徴とする。

【0009】更に、請求項3記載の体積計測方法は、請求項1記載の体積計測方法において、過去に計測した前記投射領域PAの総体積Vと、同一センサ視点Oから同一方向に投射して計測した現在の投射領域PAの総体積Vと、を比較して、その体積変化量を計測する比較計測ステップを具備することを特徴とする。

【0010】また、請求項4記載の体積計測プログラム

は、センサ視点Oから投射対象Pに対し放射状に投射する3次元計測センサ10から得られる投射画像に基づいて計測される前記投射対象Pの3次元データを用いて、コンピュータに体積を計測させる体積計測プログラムであって、前記コンピュータを、前記3次元計測センサ10から得られた前記3次元データに基づいて、前記センサ視点Oから前記投射画像内の注目画素(i, j)を投影した前記投射対象P上の微小投影面F_{i,j}までの投射距離R_{i,j}及び前記微小投影面F_{i,j}の微小投影面積S_{i,j}を導出するデータ導出手段3、前記センサ視点Oを頂点とし前記投射距離R_{i,j}を高さとし前記微小投影面F_{i,j}を底面とする微小錐体C_{i,j}の要素体積V_{i,j}を計測する要素体積計測手段4、前記要素体積V_{i,j}を総ての微小投影面F_{i,j}にまで積分して、前記センサ視点Oから前記投射対象Pまでの投射領域PAの総体積Vを計測する総体積計測手段5、として機能させることを特徴とする。

【0011】更に、請求項5記載の体積計測プログラムは、請求項4記載の体積計測プログラムにおいて、前記コンピュータを、更に、前記投射領域PA内に計測対象Wを設けずに計測した前記投射領域PAの総体積Vと、前記投射領域PA内に前記計測対象Wを設けて同一センサ視点Oから同一方向に投射して計測した投射領域PAの総体積Vと、を比較して、前記計測対象Wの体積を計測する比較計測手段7として機能させることを特徴とする。

【0012】また、請求項6記載の体積計測プログラムは、請求項4記載の体積計測プログラムにおいて、前記コンピュータを、更に、過去に計測した前記投射領域PAの総体積Vと、同一センサ視点Oから同一方向に投射して計測した現在の投射領域PAの総体積Vと、を比較して、その体積変化量を計測する比較計測手段7として機能させることを特徴とする。

【0013】上記発明によれば、投射領域PAの空間体積の計測が実現することができる。また、投射領域PA内の体積変化量が計測可能となるため、作業アームを用いた掘削作業、搬送作業等に適用することができる。更に、投射領域PA内に存在する計測対象Wの体積の計測が可能となるため、無人の移動車両における自立走行に適用することができる。

【0014】また、計測対象Wの体積計測においては、複数台の3次元計測センサ10の各投射対象Pを予め設定された仮想平面とし、その投射領域PAを任意の閉空間とする。そして、各閉空間が重複せず、かつ、連続して接合するように、計測対象Wの周囲に複数台の3次元計測センサ10を配置する。そして、各センサに基づいて計測された各体積を合計することで、計測対象Wの体積を計測することができる。これにより、計測対象Wの複雑な形状を認識する必要なく、正確な体積が計測することができる。この3次元計測センサ10の数は、好ましくは3台以上であり、また、各センサ毎の仮想平面を

表す平面方程式を同一とすることにより、それぞれ計測対象Wを中心としてその周囲に等間隔に配置することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】まず、本発明の体積計測プログラムの実施の形態について図1～図4を用いて説明する。体積計測プログラムは、ROM、HDD、CD-ROM等の記録媒体に格納されており、不図示のコンピュータに接続されることで、3次元計測センサ10から計測される3次元データを用いて、コンピュータに体積を計測させるプログラムである。この体積計測プログラムは、コンピュータを、後述する各手段3、4、5、7として機能させるプログラムである。

【0016】3次元計測センサ10は、例えばステレオビジョン、レーザーレンジファインダー等、センサ視点Oから投射対象Pに対し放射状に投射して得られる投射画像から投射対象Pの3次元データを計測するセンサである。この3次元計測センサ10は、コンピュータに接続されており、図2に示すように、計測された投射対象Pの各計測地点の3次元座標データは、図1に示す3次元データメモリ2に格納される。

【0017】データ導出手段3は、3次元計測センサ10から得られた3次元データに基づいて、図2に示すように、センサ視点Oから投射画像内の注目画素(i,j)を投影した投影対象P上の微小投影面Fijまでの投射距離Rij及び微小投影面Fijの微小投影面積Sijを導出する。

【0018】要素体積計測手段4は、図2に示すように、導出されたデータに基づいて、センサ視点Oを頂点とし、投射距離Rijを高さとし、微小投影面Fijを底面とする微小錐体Cijの体積(以下、要素体積Vijと呼ぶ)を計測する。

【0019】総体積計測手段5は、要素体積Vijを総ての微小投影面Fijにまで積分して、即ち、各微小錐体Cijの要素体積Vijを積算し、センサ視点Oから投射対象Pまでの投射領域PAにおける総体積Vを計測することとなる。これにより、隣接する微小錐体Cij同士が占める領域が空間内で重なり合うことなく隙間なく定義されるので、距離に応じた半径と広がり角度に基づき球体の一部の体積として計測可能であり、それらの積算により容易に投射対象面Pまでの体積を計測することが可能となる。

* 【0020】比較計測手段7は、投射領域PA内に計測対象Wを設けずに計測した投射領域PAの総体積Vと、前記投射領域PA内に計測対象Wを設けて同一センサ視点Oから同一方向に投射して計測した投射領域PAの総体積Vと、を比較して、計測対象Wの体積を計測する。また、過去に計測した投射領域PAの総体積Vと、同一センサ視点Oから同一方向に投射して計測した現在の投射領域PAの総体積Vと、を比較して、その体積変化量を計測する。

10 【0021】図2(a)～(c)は、3次元計測センサ10として、ステレオビジョンを適用した場合の原理図であり、複数台のセンサ10により同一被写体(計測対象W)を写したときに、その位置関係により生じる像のズレから3次元データを算出するステレオビジョンに適用した場合の例を示したものである。また図3は、そのフローチャートである。

【0022】ステレオビジョン10では、得られた距離画像はCCDの画素毎に輝度値で距離画像が表示されているので、基準カメラのCCDの画素配列に基づき計算すると考えられる。まず、得られた距離画像から得られる3次元座標計測データ(Xij, Yij, Zij)を読み込む(SP1)。

【0023】次に読み込んだ各3次元座標計測データ(Xij, Yij, Zij)を、3次元データメモリ2から各画素ごとに抽出する(SP2～SP8)。

【0024】次に、ステレオビジョン10では、抽出した画素(i,j)の3次元座標計測データは極座標ではないので(SP8～NO)、極座標に変換する(SP9)。すなわち、図2に示すように基準カメラ位置Oをセンサ視点Oとする。そして、図2(b)に示すように、XZ平面において、Z軸と、センサ視点Oと注目画素(i,j)中心を結ぶ線分と、のなす角をθとする。また、図2(c)に示すように、YZ平面において、Z軸と、センサ視点Oと注目画素(i,j)中心を結ぶ線分と、のなす角をφとする。θ及びφは下記式(1)により求めることができる。なお、ここではθ(φ)は注目画素(i,j)の中心までの角度であるためi(j)に対して1/2画素分を引いて(あるいは足して)いる。またpは注目画素(i,j)の画素幅又は画素高さ、fは焦点距離である。

【0025】

【数1】

$$\begin{cases}
 \theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} (i - \frac{1}{2}) \right) & (i > 0) \\
 \theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} (i + \frac{1}{2}) \right) & (i < 0) \\
 \phi_j = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} (j - \frac{1}{2}) \right) & (j > 0) \\
 \phi_j = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} (j + \frac{1}{2}) \right) & (j < 0)
 \end{cases} \dots \dots (1)$$

【0026】また、投射距離 R_{ij} は、センサ視点Oから、注目画素(i, j)から投影された微小投影面 F_{ij} までの距離であり、複数のカメラにおける同一注目画素(i, j)の視差値が距離 R_{ij} として計測される。これにより、注目画素(i, j)から投影された微小投影面 F_{ij} の座標 (X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}) が、極座標 $(R_{ij}, \theta_{ij}, \phi_{ij})$ に変換される。

【0027】次に、投影対象Pにおける各注目画素(i, j)からの微小投影面 F_{ij} の微小投影面積 S_{ij} を*

$$\begin{cases} \Delta\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{p}{f}i\right) - \tan^{-1}\left(\frac{p}{f}(i-1)\right) & (i > 0) \\ \Delta\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{p}{f}(i+1)\right) - \tan^{-1}\left(\frac{p}{f}i\right) & (i < 0) \end{cases} \dots\dots(2)$$

$$\begin{cases} \Delta\phi_j = \tan^{-1}\left(\frac{p}{f}j\right) - \tan^{-1}\left(\frac{p}{f}(j-1)\right) & (j > 0) \\ \Delta\phi_j = \tan^{-1}\left(\frac{p}{f}(j+1)\right) - \tan^{-1}\left(\frac{p}{f}j\right) & (j < 0) \end{cases}$$

【0029】この注目画素(i, j)に映っている範囲が投射距離 R_{ij} を持つものとすると、この部分の体積は半径 R_{ij} の球のうちセンサ視点Oと注目画素(i, j)の縁を結ぶ延長線により区切られた部分であると考えることができる。したがって、投影対象Pにおける各注目画素(i, j)からの微小投影面 F_{ij} の微小投影面積 S_{ij} は、半径 R_{ij} の球の表面積 $(4\pi R_{ij}^2)$ に対して表面積 $(R_{ij} \Delta\theta_i \cdot R_{ij} \Delta\phi_j)$ となる。※

$$V_{ij} = \left(\frac{4}{3}\pi R_{ij}^3\right) \left(\frac{R_{ij}^2 \Delta\theta_i \cdot \Delta\phi_j}{4\pi R_{ij}^2}\right) = \frac{R_{ij}^3 \Delta\theta_i \cdot \Delta\phi_j}{3}$$

.....(3)

【0032】これを全画素について積み上げることにより、即ち、下記式(4)により、センサ視点Oから投射対象Pまでの空間(投射領域PA)について体積Vが計測される(S P 1 2)。

【0033】

【数4】

$$V = \sum_{ij} V_{ij} \dots\dots(4)$$

【0034】計測された総体積Vは、総体積データメモリ6に格納される(S P 1 3)。なお、上述の例は3次元計測センサ10としてステレオビジョンを適用した例であるが、レーザレンジファインダを適用した場合、レーザレンジファインダから得られる3次元座標計測データは、極座標であるため(S P 8-Y E S)、極座標変換をする必要はない。

【0035】なお、本手法はカメラから見た投射対象P又は物体(計測対象W)までの空間体積(投射領域PA)を求めるものであり、投射対象Pの体積や、センサ視点Oから投射対象Pまでの投射領域PA内に存在する計測対象Wの体積を直接求めることはできない。しか

* 計測する(S P 1 0)。ここで、センサ視点Oから見て注目画素(i, j)の幅p(X方向)に相当する角度を $\Delta\theta$ 、注目画素(i, j)の高さp(Y方向)に相当する角度を $\Delta\phi$ とする。注目画素(i, j)の幅(高さ)に相当する角度は下記式(2)により求めることができる。

【0028】

【数2】

【0030】次に、センサ視点Oを頂点とし、注目画素(i, j)を通過する投射距離 R_{ij} を高さとし、注目画素(i, j)が投影された微小投影面 F_{ij} を底面とする微小錐体 C_{ij} を作成する。この微小錐体 C_{ij} の体積(要素体積) V_{ij} は、下記式(3)によって求められる(S P 1 1)。

【0031】

【数3】

し、カメラ位置が固定されているような場合には計測した空間体積の変化は計測対象Wの体積変化に等しくなる。

【0036】そこで、図4及び図5を用いて、計測対象Wの体積を計測する例について説明する。まず、図4(a)に示すように、3次元計測センサ10を固定し、投射対象Pとしての床面に向けて投射する。これにより、同図(a)中、点線で示されている投射領域PAの空間体積Vが計測される(S P 1~S P 1 5)。

【0037】次に、同図(b)に示すように、同一投射領域PA内における床面に計測対象Wを載置する。そして、床面及び計測対象Wの表面を投射対象P'とすることで、S P 1~S P 1 3の処理により、同図(b)中、点線で示されている投射領域PA'の空間体積V'を計測する(S P 2 0)。同図(a)及び同図(b)における投射領域PA, PA'の総体積V, V'を総体積データメモリ6から読み出す(S P 2 1)。そして、両総体積V, V'の差分を取ることで、計測対象Wの体積(V-V')が計測される(S P 2 2)。

【0038】また図5~図7を用いて、掘削や盛土作業

における作業量の計測に適用する場合について説明する。図6に示すように、3次元計測センサ10及び体積計測プログラムは、パワーショベル機11に搭載されている。

【0039】まず、図7(a)に示すように、平らな地形では、その地面を投射対象Pとして、センサ視点Oから地面までの3次元空間である投射領域PA(図中点線の範囲)の空間体積Vを計測する。

【0040】次に、同図(b)に示すように、所定量の土を掘削して穴12(12a)を形成した場合、投射対象Paは、穴12aの底面及び内周壁並びに地面となり、同図(a)の投射領域PAに比べ、同図(b)の投射領域PAaが掘削土の掘削量分体積が増加して(図中点線の範囲)、空間体積Vaが計測される。

【0041】この状態から更に掘削して穴12bを形成すると、同図(c)に示すように、投射対象Pbは、穴12aの底面及び内周壁、穴12bの底面及び内周壁、並びに地面となり、同図(b)の投射領域PAaに比べ、同図(c)の投射領域PAbが掘削土の掘削量分体積が増加して(図中点線の範囲)、空間体積Vbが計測される。

【0042】したがって、同図(b)での掘削体積を計測する場合は、同図(a)と同図(b)との空間体積V、Vaを比較してその差分(V-Va)をとることで計測される。また、同図(c)での掘削体積を計測する場合は、同図(a)と同図(c)との空間体積V、Vbを比較してその差分(V-Vb)をとることで計測される。更に、同図(b)から同図(c)への掘削体積を計測する場合は、同図(b)と同図(c)との空間体積Va、Vbを比較してその差分(Va-Vb)をとることで計測される。

【0043】これにより、掘削作業中に掘削土の体積を把握することができ、目標とする掘削体積まで正確に掘削することが可能となる。

【0044】次に、他の例について説明する。本例は、図8に示すように、複数(図では2台)の3次元計測センサ10(10a、10b)を計測対象Wの周囲に、計測対象Wから放射状に等角度で固定配置して計測対象Wの体積を計測する例である。

【0045】本例の3次元計測センサ10は、平面方程式を用いて仮想的に投影対象面PIを定義する。すなわち、センサ視点Oから仮想投影対象面PIまでをセンサ10の最大投射距離Rmaxとして予め設定しておき、実際に計測した投射距離Rijが、最大投射距離Rmaxを越えると、最大投射距離Rmaxに変換処理する。これにより、各3次元計測センサ10a、10bの最大計測空間体積を設定し、投射領域PAをPA1とPA2に分割するようにしている。

【0046】従って、図8(a)に示すように、床面に計測対象Wが載置されていない場合、一方の3次元計測

10

センサ10aの投射対象P1は、投射された床面と床面から仮想的に垂設する仮想投影対象面PIとなり、空間体積V1が計測される。同様に、他方の3次元計測センサ10bの投射対象P2は、投射された床面と床面から仮想的に垂設する仮想投影対象面PIとなり、空間体積V2が計測される。

【0047】そして、図8(b)に示すような、円錐台又は角錐台を逆さにした計測対象Wを、両投射領域PA1、PA2に渡るように床面に載置する。そして、この計測対象Wに向けて両センサ10a、10bから投射すると、空間体積V1'及びV2'が計測される。そして、一方のセンサ10a側では、空間体積V1と空間体積V1'の差分により、仮想投射対象面PIを境界にして、計測対象Wの略右半部Waの体積(V1-V1')が計測される。同様に他方のセンサ10b側で空間体積V2と空間体積V2'の差分により、仮想投射対象面PIを境界にして、計測対象Wの略左半部Wbの体積(V2-V2')が計測される。この略右半部の体積と略左半部の体積を合計することで、計測対象Wの体積Vを計測することが可能となる。

【0048】これにより、計測対象Wの周囲から死角のない状態で複数の計測を行うときに、各視野を基準点の位置関係から重複することのないように閉空間で構成し合成することとなるので、複雑な物体認識を必要とせず計測対象Wの体積を計算することが可能となる。

【0049】図8では、3次元計測センサ10を2台用いた場合について説明したが、図9に示すように、3台用いてもよい。この場合、各センサの仮想投射対象面PI、すなわち平面方程式を各センサ10A、10B、10Cにつき2面定義することで、投射領域PAa、PAb、PAc及びその空間体積を3分割することができ、各投射領域PAに渡るように計測対象Wを載置することで、三方から計測対象Wに投射して体積を計測し、これらを合計することで、上記と同様に計測対象Wの体積を計測することが可能となる。

30
40
50

【0050】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、計測する座標が多くなっても相互の位置関係から隣接点を探査し境界線を求める必要がなく、センサに応じた規則性のある配列情報に基づいて、順次必要な体積を計算できるので、行程が少なくアルゴリズムも簡素化することができる。また、計測地点の増加による処理速度の低下を回避でき、逆に計測地点数を多くすることが可能となり、計算精度の向上、リアルタイム性の向上も図れる。

【0051】また、複雑な形状をした物体についても、各計測地点について計測対象の内外のどちらに存在する点かの区別、どの領域が計測対象の表面なのかの認識や、面の方向などの判別が必要なく、アルゴリズムの簡素化と処理速度の向上が図れる。

【0052】また、実時間処理の可能性から、時々刻々と変化する環境の中で、実時間で判断しなければならない、遠隔操縦や自動化を図った作業機に関する作業プランニングや高速移動を可能とする無人車両等のナビゲーション等への適用も可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の体積計測プログラムを示す概略ブロック構成図である。

【図2】本発明の体積計測プログラムにおける体積計測原理を示す図である。

【図3】本発明の体積計測プログラムを示すフローチャートである。

【図4】平面上にある計測対象の体積算出方法の一例を示した図である。

【図5】計測対象の体積計測を示すフローチャートである。

【図6】本発明の体積計測プログラムをパワーショベル機に搭載した例を示す図である。

【図7】本発明の体積計測プログラムをパワーショベル機に搭載したときの掘削体積を計測する概略図である。

【図8】平面上にある計測対象の体積算出方法の他の例を示した図である。

* 【図9】平面上にある計測対象の体積算出方法の応用例を示した図である。

【図10】従来の計算手法における計測点の扱い方を示した図である。

【図11】対象物が複雑な形状の時に生じる問題点を示した図である。

1…体積計測プログラム

3…データ導出手段

4…要素体積計測手段

10 5…総体積計測手段

7…比較計測手段

10 3次元計測センサ

(i, j)…注目画素

C_{ij} …微小錐体

F_{ij} …微小投影面

○…センサ視点

P…投射対象

PA…投射領域

R_{ij} …投射距離

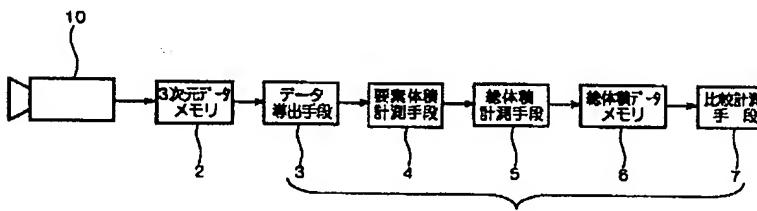
S_{ij} …微小投影面積

V…総体積

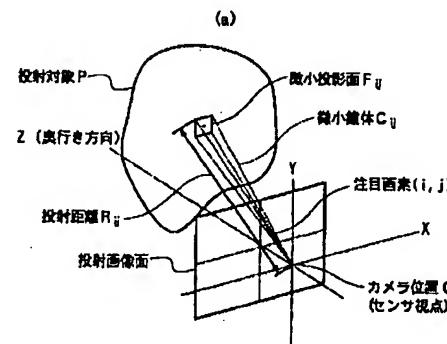
V_{ij} …要素体積

*

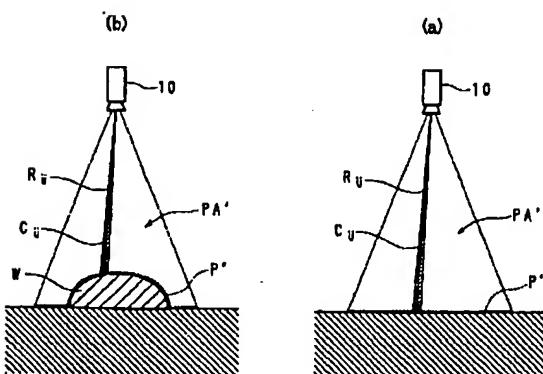
【図1】



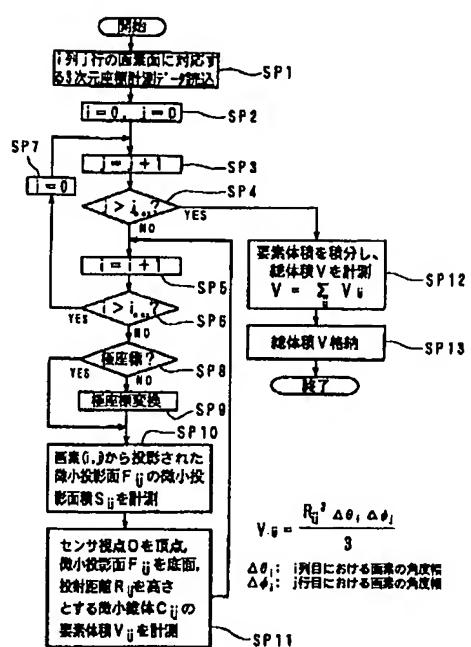
【図2】



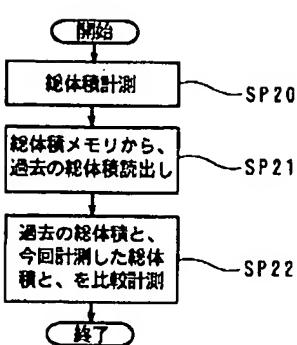
【図4】



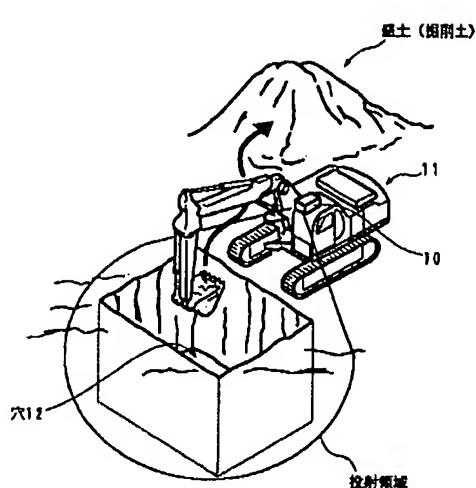
【図3】



【図5】

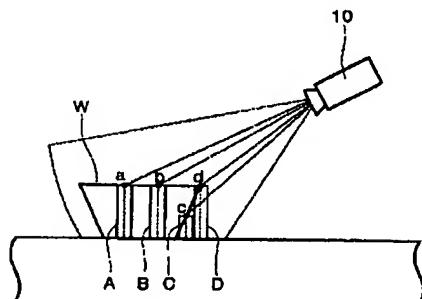
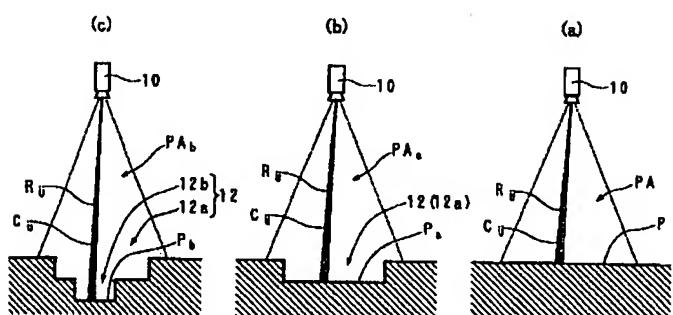


【図6】

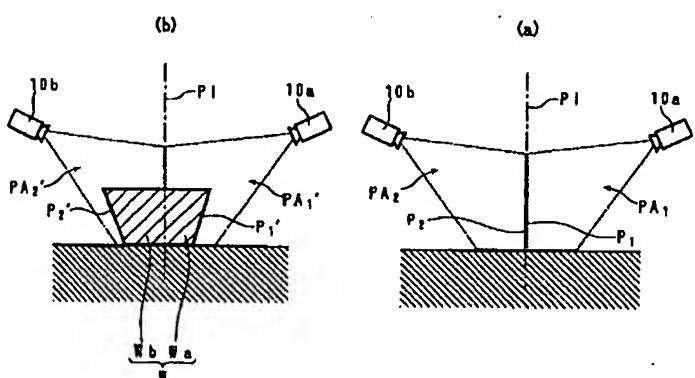


【図11】

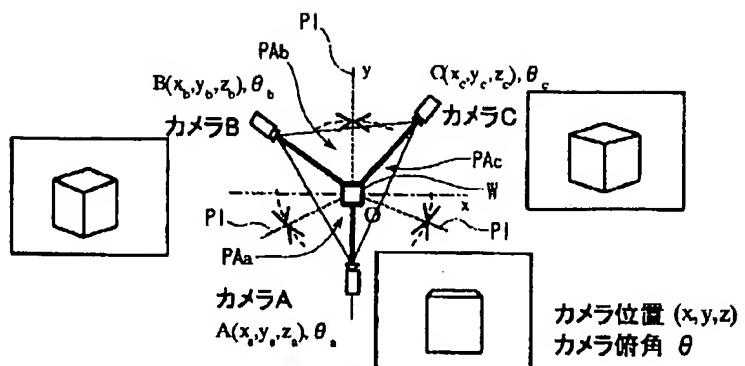
【図7】



【図8】



【図9】



---- 各カメラの担当領域の境界(任意に設定)

【図10】

